



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 27 938 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**G 06 T 7/00**  
G 06 F 19/00  
G 05 D 1/00  
G 01 P 3/50  
// G 06 F 165:00

②1 Aktenzeichen: 196 27 938.0  
②2 Anmeldetag: 11. 7. 96  
④3 Offenlegungstag: 15. 1. 98

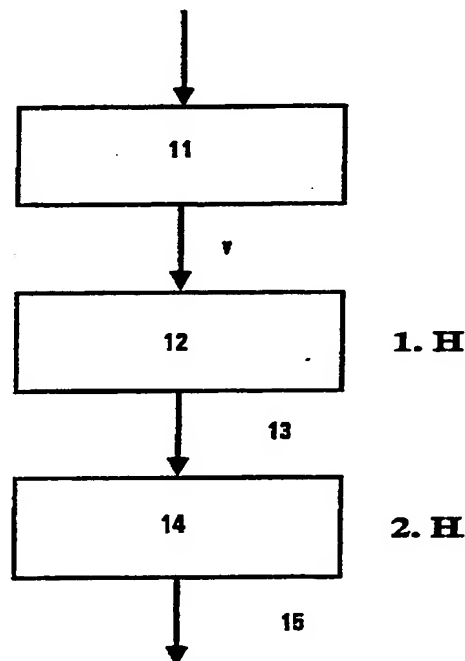
DE 196 27 938 A 1

⑦1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Garnitz, Rainer, 31135 Hildesheim, DE; Goldbeck,  
Jens, 30173 Hannover, DE; Hoetter, Michael, Dr.,  
30989 Gehrden, DE

⑤4 Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung in Bewegtbildsequenzen

⑤7 Es wird ein videobasiertes Verfahren vorgeschlagen, das der dynamischen Spurverfolgung in Bewegtbildsequenzen dient. Eine Recheneinheit ermittelt aus zwei von der Bildaufnahmeeinheit aufgenommenen aufeinanderfolgenden Bildern ein Modell zur Beschreibung der Fahrbahn und der relativen Lage des Fahrzeugs im zeitlich neueren Bild, basierend auf dem Fahrbahnmodell des zeitlich älteren Bildes. Dabei wird zur Detektion der Fahrbahnänder ein hierarchisches Verfahren angewendet.



DE 196 27 938 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 11. 97 702 063/343

11/25

einer Meßzelle  $n$  im aktuellen Bild und deren vorheriger Lage im zeitlich älteren Bild hergestellt werden. Anschließend werden die Meßzellen  $M_k$  durch eine Größenadaptation mit Grauwertinterpolation bzgl. der mittleren Spaltengrauwerte an die korrespondierenden Meßzellen  $M_{k+1}$  angepaßt, um die Meßzelleninhalte miteinander vergleichen zu können. Die horizontalen Verschiebungen  $d_{k,k+1}$  zwischen Paaren korrespondierender Meßzellen werden auf der Grundlage des Verfahrens zur Geschwindigkeitsschätzung bestimmt 53. Zu jedem  $d$  werden Ähnlichkeitsmaße (DFD) für ein Meßzellenpaar gebildet und durch deren statistische Auswertung innerhalb eines Suchbereichs ein Least-Squares-Schätzwert der horizontalen Verschiebung  $d_{k,k+1}$  für jedes Meßzellenpaar ermittelt. Mit  $d_{k,k+1}$  lassen sich nun die korrigierten Positionen der Meßzellenmittelpunkte, die Repräsentanten von Fahrbahnrandpunkten sind, im aktuellen Bild  $k+1$  angeben. Anhand der somit erfaßten Fahrbahnrandpunkte wird nun ein aktueller Parametersatz  $a_{k+1}$  geschätzt.

Für diese Schätzung müssen nach Fig. 6 in Abhängigkeit der Verteilung der erfaßten Punkte auf dem Fahrbahnranden diejenige Modellparameter gekennzeichnet 61 werden, deren Schätzung möglich ist. So ist z. B. eine Bestimmung der Fahrbahnbreite  $B$  dann nicht mehr möglich, wenn nur auf einem Fahrbahnrand Punkte detektiert werden können. Anhand der erfaßten Fahrbahnrandpunkte wird eine Aktualisierung des Modellparametersatzes  $a_i$  vorgenommen 62, in dem die nicht lineare Modellgleichung in einem Arbeitspunkt (= zuvor geschätzter Modellparametersatz) linearisiert wird, um dann mittels eines Newton-Verfahrens die Änderung der Modellparameter bzgl. des Arbeitspunktes 63 schätzen zu können.

Fig. 7 zeigt den Ablauf der Schätzung 71 für die Aktualisierung der Modellparameter. Da aufgrund des geringen zeitlichen Abstands der aufeinanderfolgenden Videobilder nur kleine Änderungen 72 am Arbeitspunkt zu erwarten sind, wird der Modellparametersatz  $a_k$  beim Auftreten wesentlicher Abweichungen nicht aktualisiert 77. Der bisherige Modellparametersatz bleibt ebenfalls bestehen, wenn die Änderungen der Modellparameter nach einer bestimmten Iterationszahl nicht konvergieren 73. Andernfalls werden Aktualisierung des Modellparametersatzes 74 und Schätzung der Modellparameteränderungen so lange wiederholt, bis eine Konvergenz der Modellparameteränderungen erreicht wird. Anschließend wird geprüft 75, ob die ermittelten Modellparameter eine zuverlässige Beschreibung der Fahrbahn liefern 76. Ist das der Fall werden die Parameter übernommen, andernfalls wird einen Auswahl der zu schätzenden Modellparameter genommen 78 und die Aktualisierung rückgängig 79 gemacht.

Für eine zuverlässige Beschreibung der Fahrbahn muß das Verhältnis aus Modellparameter und zugehöriger Standardabweichung  $\sigma_{k,k+1}$  der Schätzung unterhalb einer Schwelle liegen.

Zum anderen wird die aufgrund der Standardabweichung eines Modellparameters hervorgerufene Abweichung im Bild von der ermittelten Modellkurve  $MC_0$  betrachtet. Durch Variation jeweils eines der Modellparameter entsprechend seiner Standardabweichung  $\sigma_{k,k+1}$  wird eine neue Modellkurve  $MC_{k,k+1}$  erzeugt. Aus der Abweichung zwischen den Modellkurven lassen sich Abweichungen in der Wirklichkeit berechnen, die ein Maß für die Zuverlässigkeit der Schätzung darstellen. Falls die Zuverlässigkeit der ermittelten Modellparameter ausreichend ist, kann die Fahrbahn durch den

aktuellen Parametersatz modelliert werden. Andernfalls werden diejenigen Parameter, die zu einer unzuverlässigen Fahrbahnmodellierung führen, von einer weiteren Schätzung ausgeschlossen. Die von einer weiteren Schätzung ausgeschlossenen Werte nehmen die vor der Aktualisierung gültigen Werte an. Die Modellparameter, deren Aktualisierung sinnvoll erscheint, werden daraufhin beginnend mit einer weiteren Schätzung ihrer Änderung neu bestimmt. Die Überprüfung der Modellparameter wird dabei gemäß folgendem Algorithmus durchgeführt:

1. Prüfung der Modellparameter in folgender Reihenfolge:

$$B - \alpha - c_0 - x_0 - \varphi$$

2. Abbruch der Prüfung, sobald ein Modellparameter als unzuverlässig erkannt wird.

3. Unzuverlässiger Modellparameter wird gemäß seines Wertes aus der Schätzung im vorhergehenden Bild konstant gehalten.

4. Aufstellung eines neuen Gleichungssystems, dessen Anzahl unbekannter Modellparameter um eins reduziert ist, nämlich um den konstant gehaltenen Parameter.

5. Neue Schätzung aller unbekannten, nicht konstant gehaltenen Parameter.

6. Ende des Algorithmus, falls alle verbleibenden Parameter zuverlässig geschätzt werden können, oder aber alle Parameter konstant gehalten werden müssen.

7. Fortsetzung des Algorithmus mit Schritt 1.

Nach der Ermittlung des neuen Parametersatzes  $a_{k+1}$  werden abschließend die Meßzellen  $M_{k+1}$  entsprechend des neuen Fahrbahnmodells plziert.

Zur Bestimmung der absoluten Lage der Fahrbahnrande unabhängig vom vorausgehenden Modellparametersatz  $a_k$  erfolgt innerhalb eines lokalen Suchbereichs um die aus dem Fahrbahnmodell hervorgehenden Mittelpunkte der Meßzellen eine Korrektur dieser Meßzellenzentren auf der Grundlage eines Gradientenverfahrens nach Fig. 8. Zunächst werden für jeden Fahrbahnrand die maximalen Abweichungen  $d_{max}$  zwischen der Modellkurve und den aus den Variationen der Parameter gemäß ihrer Standardabweichung  $\sigma_{k,k+1}$  hervorgehenden Modellkurven im aktuellen Bild bestimmt 81. Diese Abweichungen lassen sich in reale Abweichungen  $D_{max}$  transformieren, so daß in der Wirklichkeit Korrekturbereiche um die Fahrbahnrande der konstanten Breite  $2D_{max}$  entstehen, deren Mittellinie durch den jeweiligen Fahrbahnrand gebildet wird. Unter Berücksichtigung der Abbildungsgesetze werden diese Korrekturbereiche in Bildkoordinaten rücktransformiert. Gemäß einem aus Veröffentlichungen bekannten Verfahren (Kuhnert, K. D. "Zur Echtzeitbildfolgenanalyse mit Vorwissen", Universität der Bundeswehr München, Januar 1988) werden in den Meßzellen die Kontrastunterschiede vertikal zur Richtung des Fahrbahnrandes ausgewertet 82. Jeder Ort eines maximalen lokalen Kontrastunterschiedes repräsentiert einen Kandidaten für den Fahrbahnrandpunkt innerhalb der Meßzelle. Der bzgl. des Meßzellenzentrums geeignetste Kandidat wird als möglicher Fahrbahnrandpunkt ausgewählt 83 und falls dieser innerhalb des zuvor bestimmten Korrekturbereichs um den modellierten Fahrbahnrand gelegen ist, wird seine horizontale Position  $d_{k+1}$  korrekt

korrigiert 84.

Zum Abschluß des Verfahrens der dynamischen Spurverfolgung in aufeinanderfolgenden Videobildern nach Fig. 3 wird unter Verwendung der korrigierten Mittelpunkte der Meßzellen 33 der bisherige Modellparameteratz in einer weiteren Schätzung der Modellparameter 32, siehe Fig. 6 und 7, aktualisiert, so daß ein aktueller Parametersatz für das aktuelle Bild dargestellt wird.

#### Bezugszeichenliste

- 11 Geschwindigkeitsbestimmung
- 12 Spurverfolgung mit Matching-Verfahren
- 13 Erstes Fahrbahnmodell
- 14 Spurverfolgung mit Gradientenverfahren
- 15 Endgültiges Fahrbahnmodell
- 31 Horizontales Matching
- 32 Schätzung der Modellparameter
- 33 Gradientenkorrektur
- 41 Plazierung der Meßzellen  $M_k$  und  $M_{k+1}$
- 51 Plazierung der Meßzellen  $M_k$  und Geschwindigkeitskompensation
- 52 Größenadaption der Meßzellen  $M_k$
- 53 Bestimmung der horizontalen Verschiebung
- 61 Kennzeichnung der zu schätzenden Parameter
- 62 Aktualisierung des Modellparametersatzes
- 63 Neuplazierung der Meßzellen  $M_{k+1}$
- 71 Schätzung der Modellparameteränderungen
- 72 Arbeitspunkt wesentlich verändert?
- 73 Konvergenz aller Modellparameteränderungen?
- 74 Aktualisierung des Modellparametersatzes
- 75 Prüfung der geschätzten Modellparameter
- 76 Modellparameter okay?
- 77 Aktualisierung des Modellparametersatzes rückgängig machen
- 78 Auswahl der zu schätzenden Modellparameter
- 79 Aktualisierung des Modellparametersatzes rückgängig machen
- 81 Bestimmung des Gradientenkorrekturbereichs
- 82 Bestimmung des mittleren Gradienten
- 83 Auswahl der Fahrbahnrandpunktkandidaten
- 84 Bestimmung des Korrekturmaßes.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit durch elektronische Aufnahmen von Bildern des Straßengeschehens mit einer Videokamera und einer Recheneinheit, in der der Verlauf der Straße als mathematisches Modell mit einem Parametersatz  $a_i$  charakterisiert und gespeichert wird, wobei die Fahrbahnrandpunkte, die den Verlauf der Straße markieren aus dem elektronisch aufgenommenen Bild ermittelt werden und für das Verfahren als Meßpunkte in definierten Meßzellen dienen, dadurch gekennzeichnet, daß folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:

- a) Geschwindigkeitsbestimmung durch Meßzellenvergleich des aktuellen mit dem zuvor aufgenommenen Bild unter Verwendung eines Parametersatzes  $a_i$ ,
- b) Horizontaler Vergleich von Bildbereichen,
- c) Schätzung der Modellparameter  $a_i'$ ,
- d) Gradientenkorrektur der Meßzellen im Bereich der horizontalen Eingrenzung,

e) Schätzung der Modellparameter  $a_i''$ .

2. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Modellparameter  $a_i''$  als Basis für die Geschwindigkeitsbestimmung der nächsten Messung herangezogen werden.

3. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit durch Verschieben der Meßzellen in zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Bildern entlang der Fahrbahnrande gemäß des Fahrbahnmodells gemessen wird, wobei die Messung durch Bildung von geschwindigkeitsabhängigen globalen Ähnlichkeitsmaßen (DFD Displaced Frame Difference) über alle Meßzellen, sowie durch eine statistische Auswertung aller Ähnlichkeitsmaße mit Least-Square-Schätzung der Fahrzeuggeschwindigkeit gewichtet wird.

4. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Fahrbahnrandpunkterfassung nach der Geschwindigkeitskompensation durch eine Least-Square-Schätzung der horizontalen Verschiebungen zwischen korrespondierenden Meßzellen in aufeinanderfolgenden Bildern mit statistischem Analyseverfahren und der Ermittlung des Gradientenkorrekturbereichs anhand der Standardabweichung aus der Modellparameterschätzung und anschließender lokaler Gradientenkorrektur der detektierten Fahrbahnpunkte innerhalb des Korrekturbereichs erfolgt.

5. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelten Modellparameter auf ihre Zuverlässigkeit bewertet werden, wobei als Maß das Verhältnis aus Standardabweichung und Modellparameter, sowie die resultierende Abweichung von der Modellkurve durch Variation der Modellparameter entsprechend der Standardabweichung gilt.

6. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Ausfall der Bestimmung eines Modellparameters der Parameter des letzten Bildes verwendet wird.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

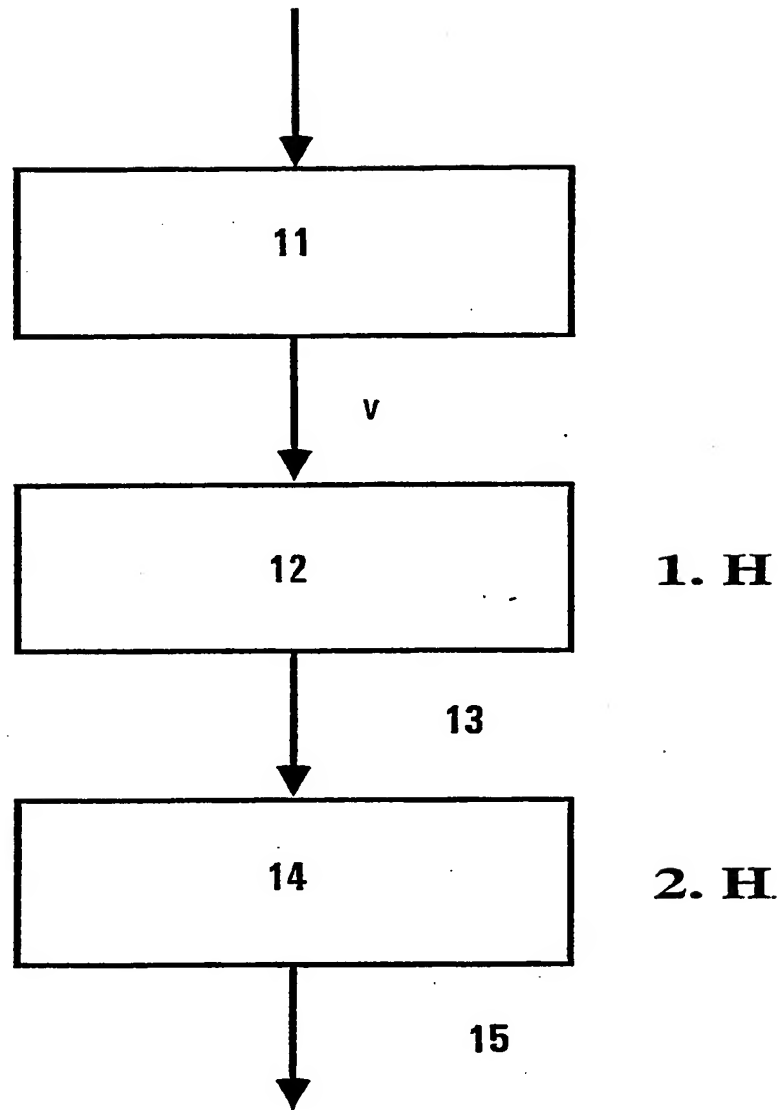


Fig. 1

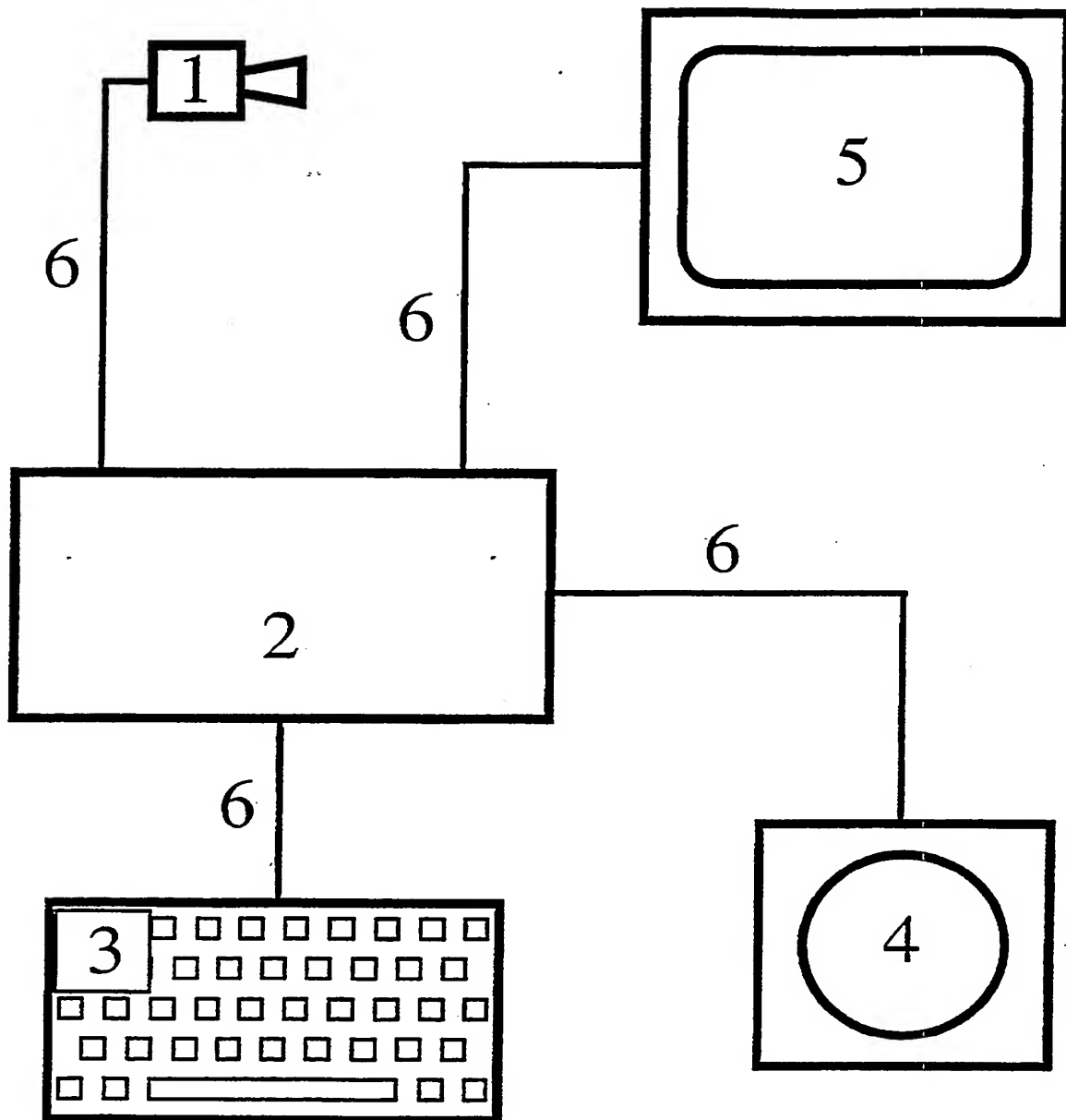


Fig. 2

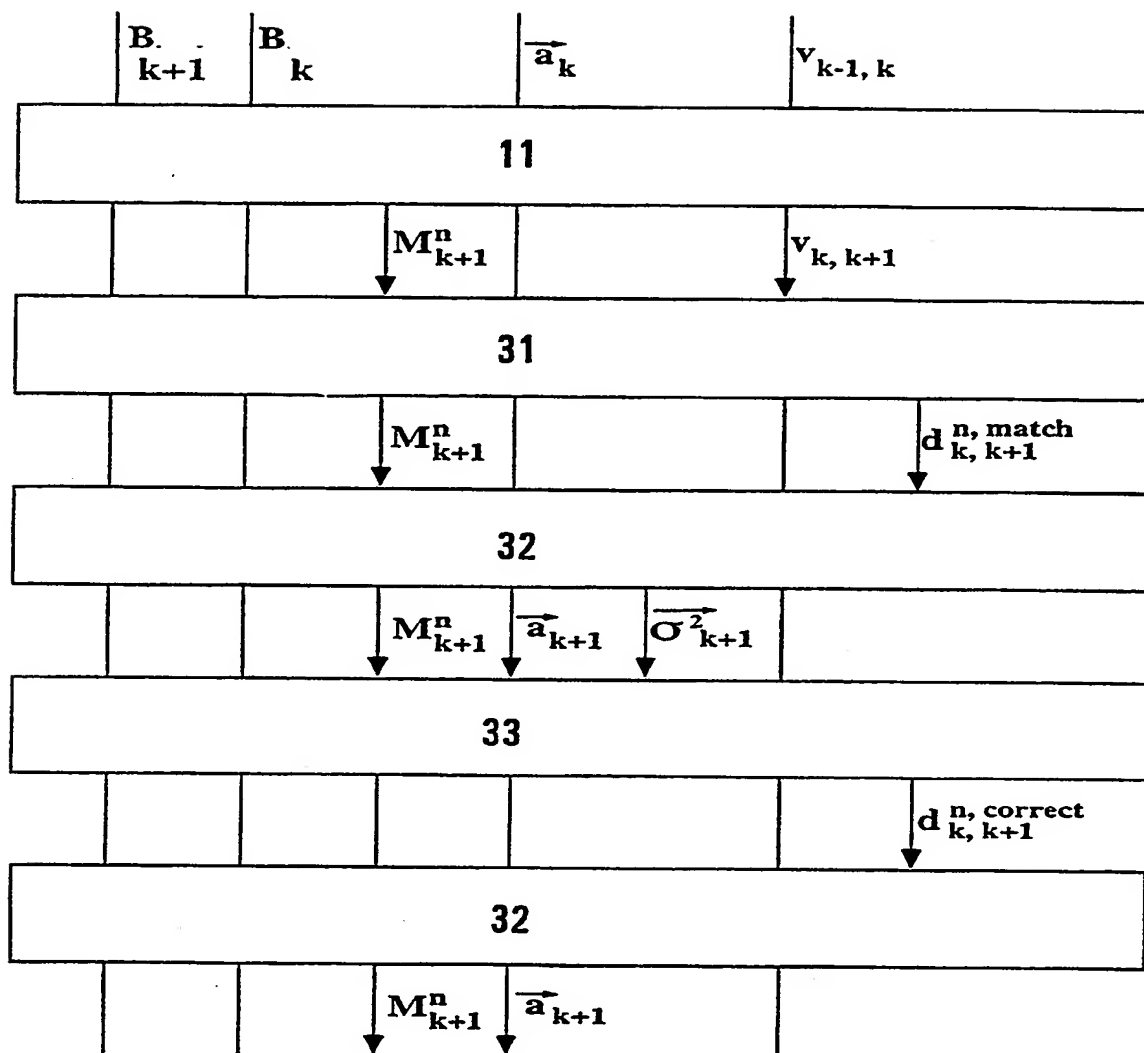


Fig. 3

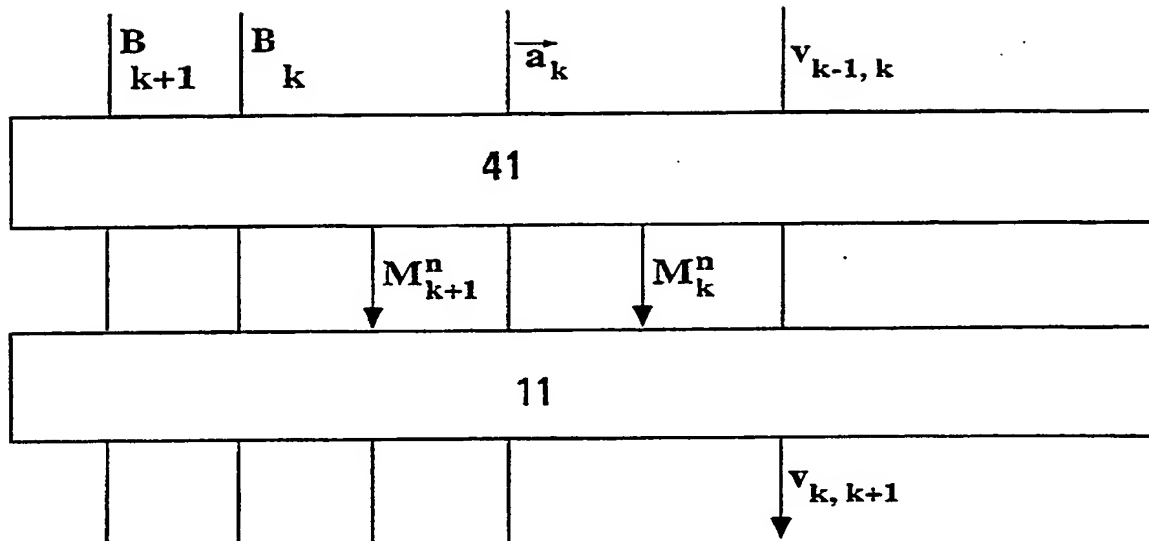


Fig. 4



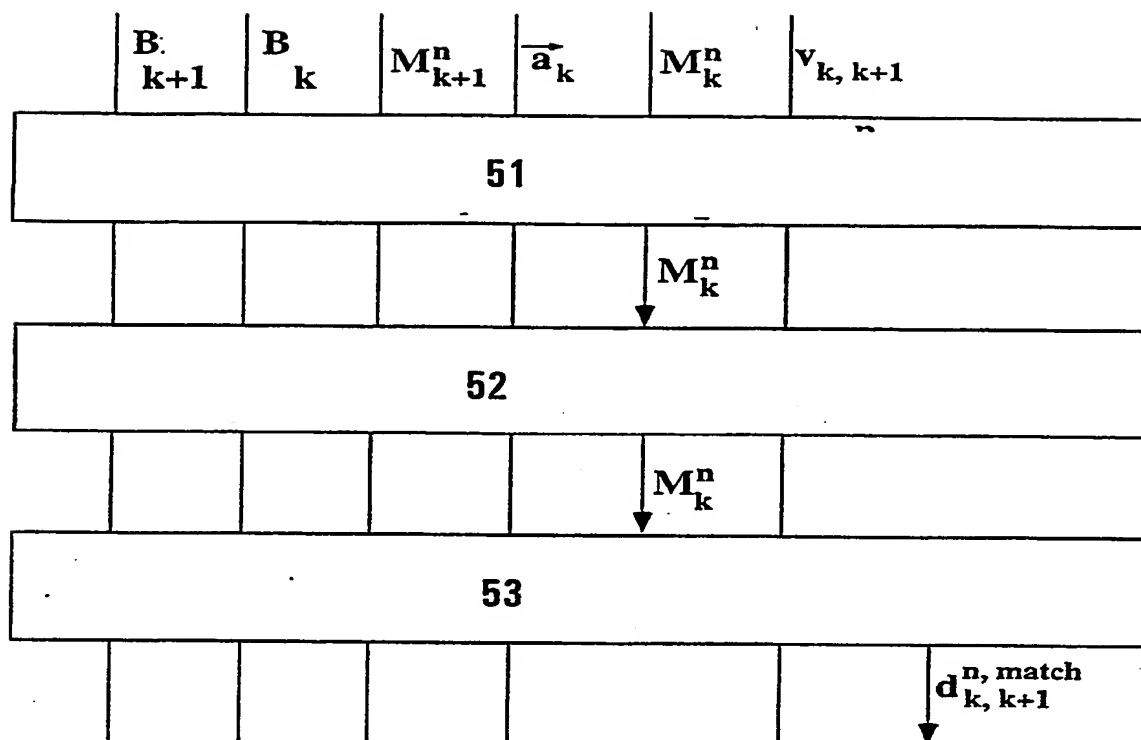


Fig. 5

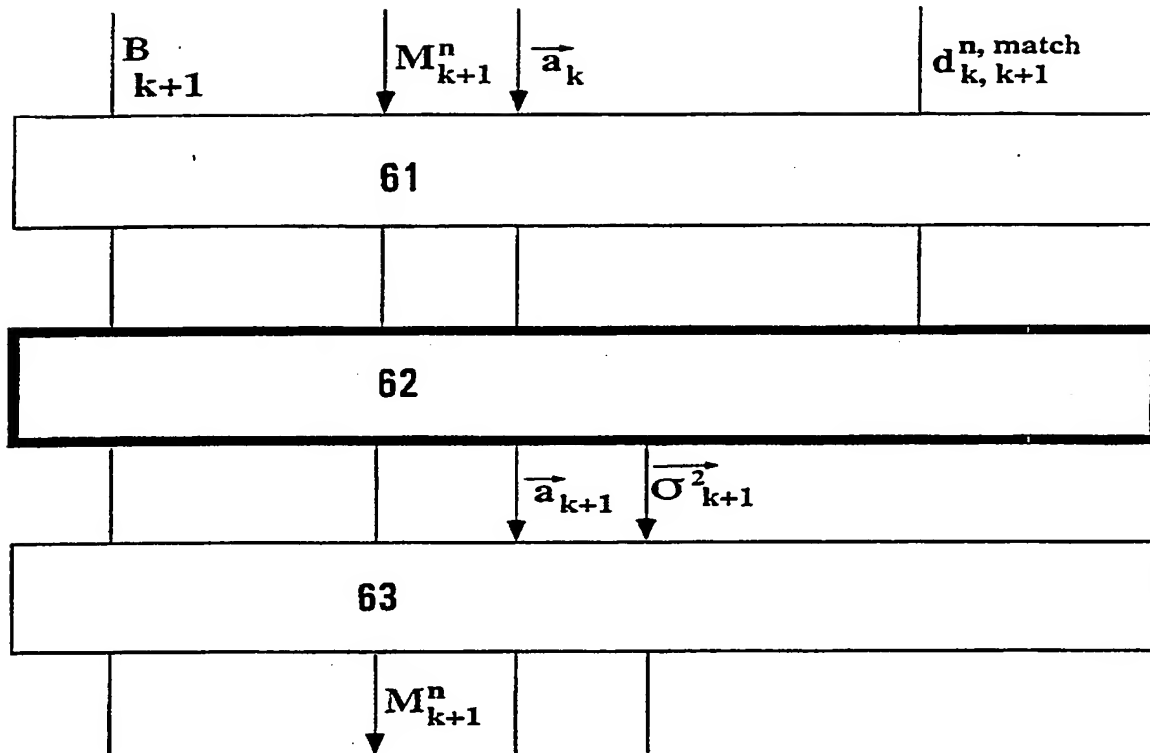


Fig. 6

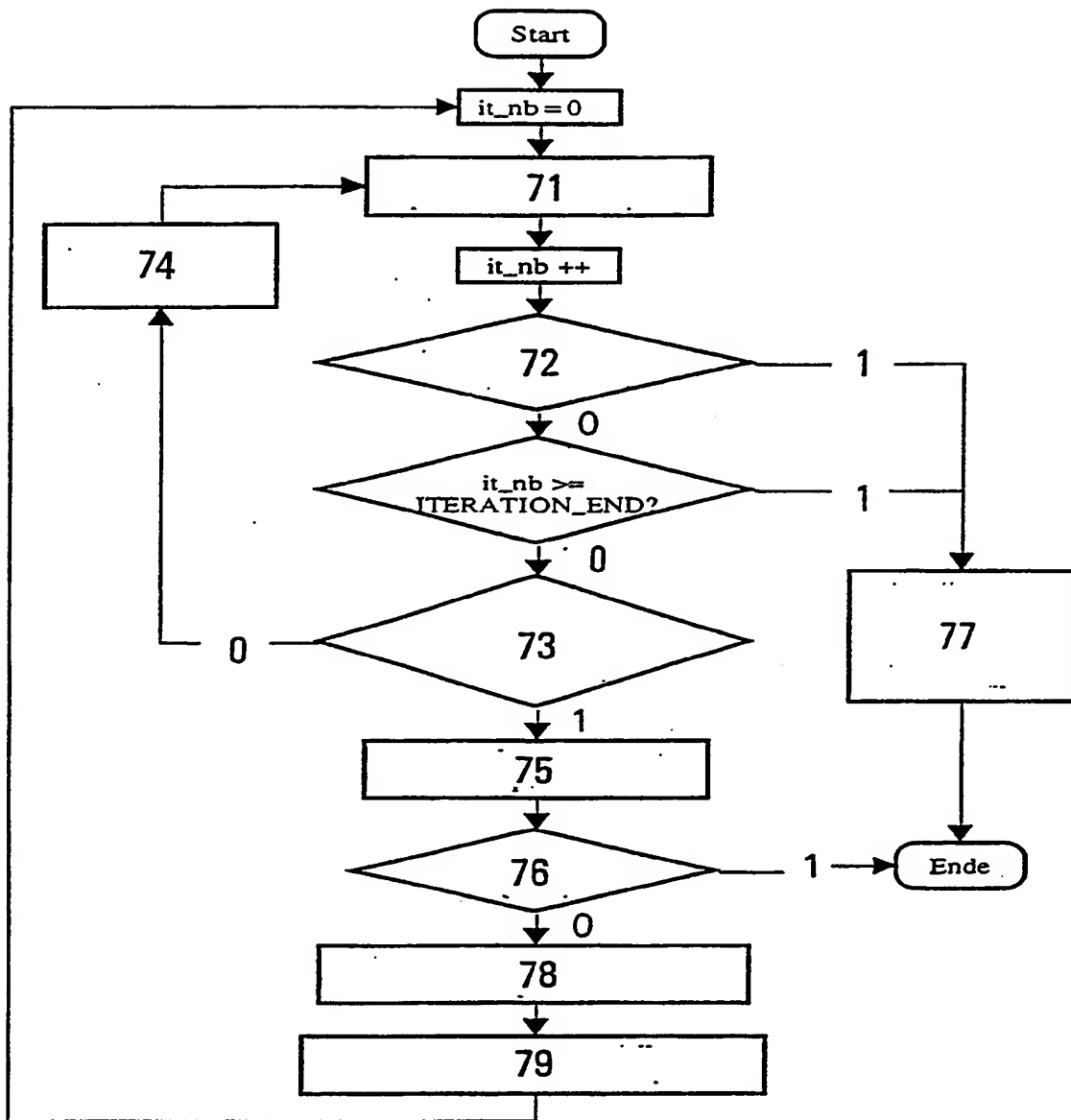


Fig. 7

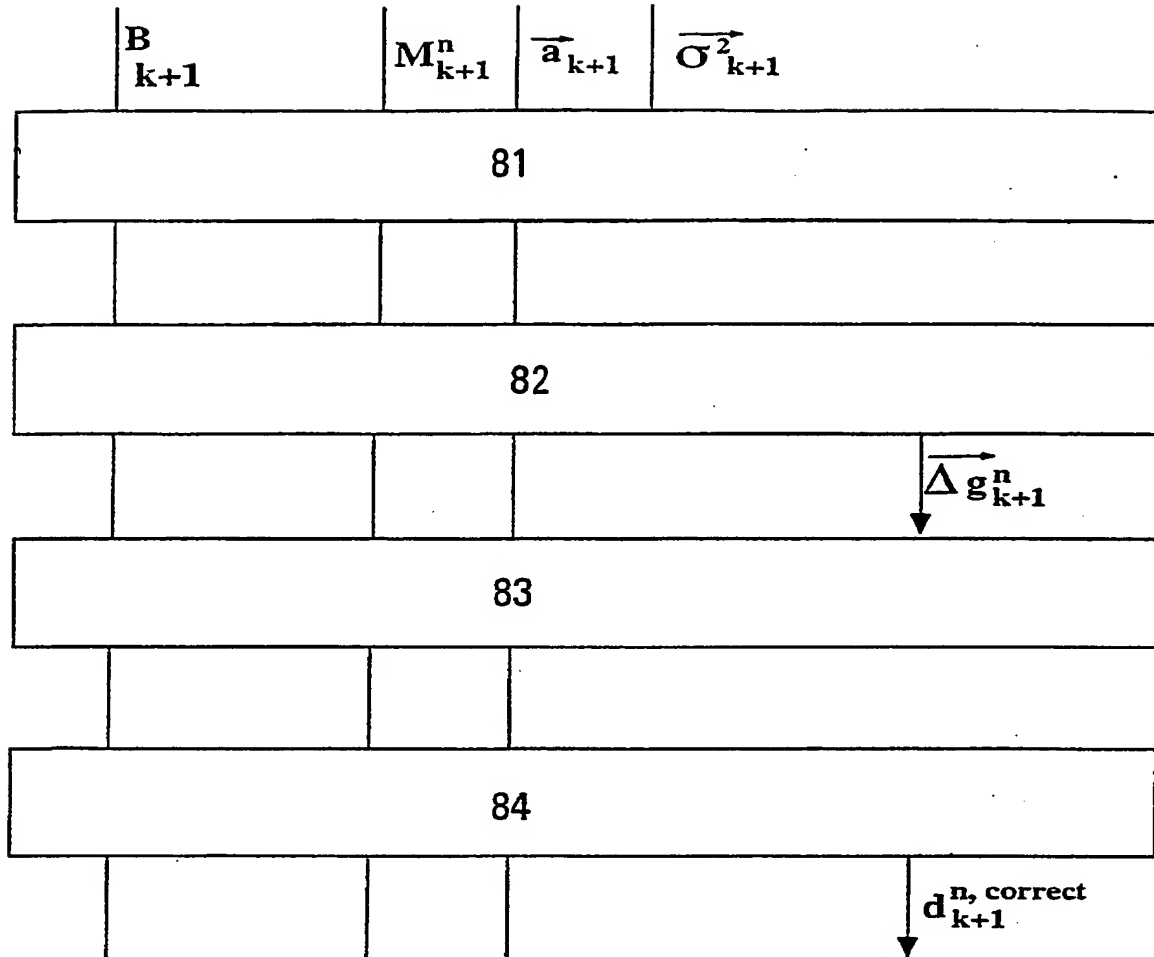


Fig. 8